



**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**

Grado en Ingeniería Electromecánica

---

## **Trabajo Fin de Grado**

*Diseño y fabricación de un dispositivo bajo coste para la medida de energía en el hogar*

Manuel Ramón González González

Tutor: James Brian Romaine

Sevilla, Junio de 2020



*A mis padres y a mi hermana por confiar en  
mi y ser pilares fundamentales durante  
mi recorrido en la Universidad.*

*A James por ser guía del desarrollo de este  
proyecto y en general, a los profesores  
de la Universidad que han sido  
partícipes de mi formación durante el  
grado.*

*Finalmente a mis compañeros y amigos por  
apoyarme en todo momento .*



## **Resumen**

Actualmente, los consumidores de electricidad a pequeña escala, como los usuarios domésticos, hasta llegar a las industrias, necesitan saber cuál es su consumo para el ahorro económico. Para lograr su objetivo de ahorro, la medición de la energía eléctrica y otras características son monitoreadas y examinadas. Con este monitoreo, el individuo puede calcular el consumo de energía basado en dinero y compararlo con sus facturas mensuales. De esta manera, el usuario puede decidir reducir costos reduciendo el consumo de energía o alterando su suministro contratado.

En este Proyecto Final de Carrera, se diseñará, programará y fabricará un dispositivo de medición de energía, utilizando el hardware apropiado, en el cual recibirá los parámetros eléctricos para ser analizados, a fin de calcular múltiples parámetros eléctricos. Además, el sistema será un dispositivo de bajo costo y competitivo en el mercado en términos de precisión y costo. Para lograr esto, se eliminarán los componentes no esenciales, como la pantalla LCD, y se reemplazarán con métodos más nuevos, como la interfaz de redes sociales, la interfaz en la nube y los sistemas de monitoreo de aplicaciones móviles. Además, nuestro objetivo es reducir el consumo del dispositivo para lograr una larga vida útil autónoma. También se estudiará la viabilidad y precisión del trabajo realizado en la medición de parámetros como potencia, voltaje, entre otros.

**Palabras clave:** IoT, precisión, bajo consumo de energía, bajo coste, hogar.



## **Abstract**

Currently, the smallest-scale consumers of electricity, such as home users, to reaching industries, need to know what their consumption is for economic savings. To achieve their savings objective, the measurement of electrical energy and other characteristics are monitored and explored. With this monitoring, the individual can compute fiat based energy consumption and compare it to their monthly bills. This way, the user can decide to cut costs by either reducing energy consumption or altering their contracted supply.

In this Final Degree Project, an energy measurement device will be designed, programmed and manufactured, using appropriate hardware, in which it will receive electrical parameters to be analysed, in order to calculate multiple electrical parameters. In addition, the system will be a low-cost and market competitive device in terms of both precision and cost. To achieve this, non-essential components such as the LCD display will be removed, and replaced with newer methods such as social media interfacing, cloud interfacing and mobile app monitoring systems. Furthermore, we aim to reduce consumption of the device to achieve long autonomous life span. The feasibility and precision of the work carried out in the measurement of parameters such as power, voltage, among others, will also be studied.

**Keywords:** IoT, accuracy, low power consumption, low cost, home .





## Índice General

<b>Resumen.....</b>	<b>v</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice General.....</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de figuras. ....</b>	<b>x</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>xi</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>12</b>
1.1. Estado del Arte.....	12
1.2. Objetivos .....	16
1.3. Elementos utilizados .....	16
1.4. Arquitectura del sistema .....	17
<b>2. Desarrollo del diseño y fabricación del dispositivo .....</b>	<b>18</b>
2.1. Visión general del proyecto .....	18
2.2. Sensor transformador de corriente.....	18
2.3. Conexión de los componentes .....	21
2.4. Amplificador de instrumentación.....	22
2.5. Microcontrolador Arduino.....	22
2.6. Alimentación del Arduino.....	23
2.7. Lenguaje y código.....	24
2.8. Acondicionamiento de señal senoidal .....	26
2.9. Almacenamiento y muestra de datos.....	29
2.10. Código fuente .....	32
2.11. Presupuesto.....	34
<b>3. Resultados .....</b>	<b>36</b>
3.1. Eliminación/reducción de error .....	36
3.1.1 Calefactor.....	38
3.1.2 Televisión. ....	41
3.1.2 .Calefactor y Televisión.....	43
3.1.2 .Cargador .....	44
3.2. Precisión .....	46
3.3. Comparación.....	47
<b>4. Conclusiones .....</b>	<b>50</b>
<b>5. Referencias .....</b>	<b>51</b>

## Índice de figuras.

<b>Figura 1.</b> Engage Hub Kit [6] .....	12
<b>Figura 2.</b> Dispositivo EmonPi [10] .....	14
<b>Figura 3.</b> Dispositivo de EcoArt [5] .....	14
<b>Figura 4.</b> Arquitectura del sistema.....	17
<b>Figura 5.</b> Relación corriente de entrada-tensión de salida del sensor [19].....	19
<b>Figura 6.</b> Relación corriente de entrada- tensión de salida del sensor [16].....	20
<b>Figura 7.</b> Sensor transformador de corriente. ....	20
<b>Figura 8.</b> Localización del sensor. ....	21
<b>Figura 9.</b> Placa de prototipado. ....	21
<b>Figura 10.</b> Cables macho a macho. ....	21
<b>Figura 11.</b> Amplificador de instrumentación.....	22
<b>Figura 12.</b> Microcontrolador Arduino [1].....	23
<b>Figura 13.</b> Señal de tensión en C.A. ....	27
<b>Figura 14.</b> Señal equivalente de tensión en C.C. ....	29
<b>Figura 15.</b> Ejemplo de mediciones en ThingSpeak .....	30
<b>Figura 16.</b> Aplicación Thingview de ThingSpeak.....	30
<b>Figura 17.</b> Aplicación móvil Blynk.....	31
<b>Figura 18.</b> Alertas en Twitter. ....	31
<b>Figura 19.</b> Relación entre tensión y corriente del sensor. ....	36
<b>Figura 20.</b> Gráfica error. ....	37
<b>Figura 21.</b> Reducción de error.....	37
<b>Figura 22.</b> Relación tensión eficaz-tiempo de un calefactor.....	38
<b>Figura 23.</b> Ampliación de la relación tensión-tiempo de un calefactor.....	39
<b>Figura 24.</b> Relación corriente eficaz-tiempo de un calefactor .....	39
<b>Figura 25.</b> Relación potencia aparente-tiempo de un calefactor.....	40
<b>Figura 26.</b> Ampliación relación potencia aparente-tiempo de un calefactor .....	40
<b>Figura 27.</b> Relación voltaje eficaz-tiempo de una televisión .....	41
<b>Figura 28.</b> Relación corriente eficaz-tiempo de una televisión.....	42
<b>Figura 29.</b> Relación potencia aparente-tiempo de una televisión .....	42
<b>Figura 30.</b> Relación voltaje eficaz-tiempo del calefactor y televisión .....	43
<b>Figura 31.</b> Relación corriente eficaz-tiempo del calefactor y televisión .....	44
<b>Figura 32.</b> Relación potencia-tiempo del calefactor y televisión .....	44
<b>Figura 33.</b> Relación voltaje eficaz-tiempo de un cargador .....	45
<b>Figura 34.</b> Relación corriente eficaz-tiempo de un cargador.....	45
<b>Figura 35.</b> Relación potencia aparente-tiempo de un cargador .....	46

## **Índice de tablas.**

<b>Tabla 1.</b> Características de los dispositivos. ....	15
<b>Tabla 2.</b> Presupuesto del proyecto. ....	34
<b>Tabla 3.</b> Cálculo de los dispositivos.....	46
<b>Tabla 4.</b> Tabla comparativa.....	47

## 1. Introducción

El objeto de desarrollo puede ser creado para la medición de parámetros eléctricos en cualquier entorno, desde electrodomésticos del hogar hasta grandes industrias. Evidentemente, para el enfoque hacia un entorno u otro es necesario la selección de componentes adecuados. Este Trabajo de Fin de Grado tomará la perspectiva hacia la medición de energía en el hogar. Para la inicialización del proyecto es necesario establecer las pautas a seguir así como realizar un estudio del mercado para el desarrollo del trabajo.

### 1.1. Estado del Arte

En el estado del arte se establece la descripción y se analiza las características tanto generales como técnicas de algunos de los dispositivos, que pueden ser encontrados actualmente en el mercado para la medida de energía eléctrica en hogares. De esta manera, se establecerá sus diferencias, así como ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos. También será útil para fijar las características del artefacto a diseñar.

En primer lugar cabe destacar, los contadores instantáneos de electricidad de la empresa **Efergy**. La compañía pone a la venta una gran variedad de dispositivos para la medición de la energía, un ejemplo es el **Engage Hub Kit**.



**Figura 1.**Engage Hub Kit [6]

El kit cuenta con tres elementos diferenciados el Engage Hub, el transmisor y el sensor. La ubicación de cada elemento debe ser la siguiente; sensor y transmisor deben estar colocados dentro del contador como es evidente, puesto que el sensor rodea al cable eléctrico de entrada al hogar casa y el transmisor esta conectado a él por un cable. El Engage Hub debe estar conectado a la corriente en un enchufe de

la casa y en un lugar ubicado a menos de 70 m del transmisor. Una vez conectado proporciona una interfaz completa y detallada para el entendimiento del consumo de electricidad.

A gran escala descriptiva, el dispositivo a través del sensor manda al transmisor el dato de corriente que esta circulando por el cable en el que se esta midiendo. Esta información se recibe en el Engage Hub, la cual se almacena en una nube, para el procesamiento de los datos obtenidos y finalmente ser mostrados en la aplicación .

El cliente, podrá acceder en cualquier momento a una aplicación creada por la empresa para conocer su consumo de energía, introducir la tarifa contratada y así saber los gastos en el día semana o desde una fecha determinada, descargar informes de consumo, establecer un presupuesto de consumo como objetivo, entre otras posibilidades [6].

En segundo lugar, se encuentra el dispositivo **EmonPi** una unidad de monitoreo de energía basada en Raspberry Pi, la información se puede visualizar por la pantalla que contiene u obtener en la app diseñada. Los datos que muestra son muy similares a los que se reciben con el Engage Hub: comprobar el consumo en tiempo real, gastos desde una fecha determinada... Aunque, el dispositivo de Efergy cuenta con una app mucho más cuidada y elaborada en cuanto a procesamiento de datos. Por otro lado, otra gran diferencia es que el EmonPi debe ser instalado dentro del contador y conectado al suministro de corriente eléctrica desde este lugar, por no contar con un receptor, lo que supone una instalación mas compleja [10].



**Figura 2.** Dispositivo EmonPi [10]

Por último, se analiza el dispositivo de medición de energía de la empresa **EcoArt** al igual que los anteriores, cuenta con sensor y transmisor que deben ser instalados dentro del cuadro. Al contrario, cuenta con un monitor de visualización que hace la función de receptor, al que se envía el consumo, coste, calendario, entre otros. La capacidad de almacenamiento del monitor es de dos años y se hace posible la muestra desde las últimas siete horas hasta los veinticuatro meses. El sensor y el monitor además, necesitan para su funcionamiento una batería de pilas [5].



**Figura 3.** Dispositivo de EcoArt [5]

Así, pueden ser encontrados numerosos dispositivos cuyo funcionamiento y mediciones son similares, en la siguiente tabla quedan resumidas las características de alguno de ellos:

**Tabla 1.** Características de los dispositivos.

Modelo	Engage Hub [6].	EmonPi [10].	Monitor EcoArt [5].	Shelly EM [18].	Emporia Vue[8].
Frecuencia de transmisión (MHz)	433,5	433	433,93	2400-2500	2400
Precisión(%)	Hasta 98	>89	95%	-	-
Circuitos simultáneos	5 circuitos	2 circuitos	3 circuitos	2 circuitos	2 circuitos
Nube	Si	Si	Si, dos años	Si	Si
Rango de medición corriente	50 mA - 120A	50 mA - 96 A	100 mA - 70 A	Hasta 120 A	2 A - 250 A
Rango de medición voltaje (VCA)	110 - 330	110 - 254	100 - 250	100 - 230	120 - 240
Tiempo de muestreo (s)	10	5	2,8,64	-	1
Alimentación	Monitor conectado a la corriente eléctrica y transmisor 3 baterías	Conexión a la corriente eléctrica	6 baterías, 3 pilas en el monitor y 3 en el transmisor	Corriente Alterna	Corriente Alterna
Monitor/ Aplicación Móvil y Plataforma web	Aplicación y Plataforma Web	Ambos	Monitor	Aplicación móvil	Aplicación móvil
Precio(€)	99,90	168,34	64,82	49,90	55,44

Una de las ventajas del dispositivo Engage Hub es su alta precisión y que cuenta con una nube de almacenamiento ilimitado, pero su precio es muy elevado. Lo mismo le ocurre al Emon Pi su coste es desorbitado y la precisión es menor que la del anterior, pero se puede destacar que al ir conectado a la corriente eléctrica no necesita el cambio de las baterías. El dispositivo de EcoArt tiene una precisión alta pero necesita de seis baterías y no cuenta con aplicaciones de internet para la visualización de datos, solo el monitor. De los dos últimos de la tabla no se

especifica la precisión de los mismos lo que pone en duda la fiabilidad de los datos, pero su precio es asequible y no necesita el uso de baterías.

## **1.2. Objetivos**

El proyecto tiene como objetivo principal la fabricación y programación usando Arduino , de un dispositivo de medición de parámetros eléctricos. Con ello, se pueden desglosar otros objetivos como los siguientes:

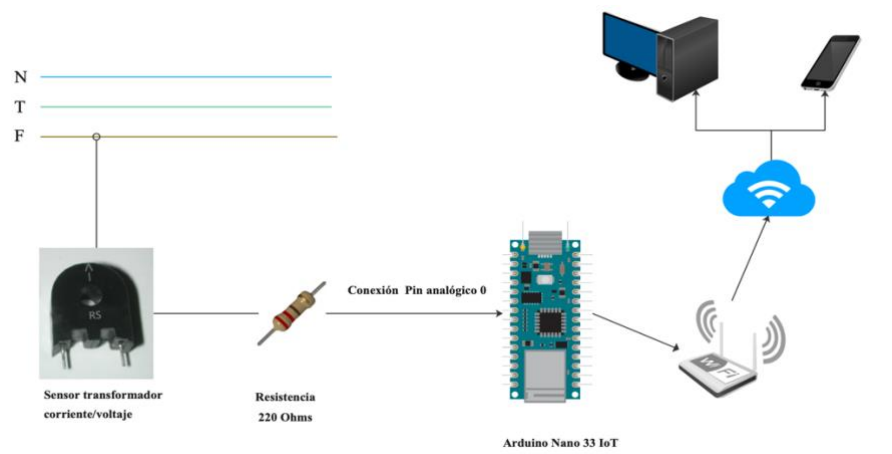
- Selección de los elementos adecuados para la construcción y desarrollo del proyecto.
- Medición, comprensión y contraste de cada uno de los datos extraídos y combinación entre ellos.
- Establecer alertas de consumo dentro del dispositivo.
- Obtención de la máxima fiabilidad, precisión y rendimiento.
- Bajo consumo de potencia.
- Tratar de un dispositivo asequible y de bajo coste.
- Programación y transferencia de datos a smartphone y ordenador.

## **1.3. Elementos utilizados**

- Transformador de corriente con sensor Hall.
- Amplificador de instrumentación.
- Microcontrolador Arduino nano 33 IOT with headers.
- Resistencias.
- Placa de prototipado 80x60x8 mm.
- Base múltiple Schuko 2 enchufes.
- Cables.
- Multímetro con pinza amperimétrica.
- Paquete Office.
- Editor programador de Arduino y Arduino IDE.
- ThingSpeak by Mathworks.
- Aplicación móvil Blynk .
- Aplicación móvil Thingview.
- Twitter.



#### 1.4. Arquitectura del sistema



**Figura 4.** Arquitectura del sistema

## **2. Desarrollo del diseño y fabricación del dispositivo**

### **2.1. Visión general del proyecto**

Dentro de este capítulo se exponen cada una de las pautas y pasos seguidos para el desarrollo del dispositivo. Así como la justificación de los elementos seleccionados para la fabricación del mismo. El capítulo puede quedar desglosado como sigue:

- Sensor transformador de corriente.
- Conexión de los componentes.
- Amplificador de instrumentación.
- Microcontrolador Arduino.
- Alimentación del Arduino.
- Lenguaje y código.
- Acondicionamiento de señal senoidal.
- Almacenamiento y muestra de datos.
- Código fuente.
- Presupuesto

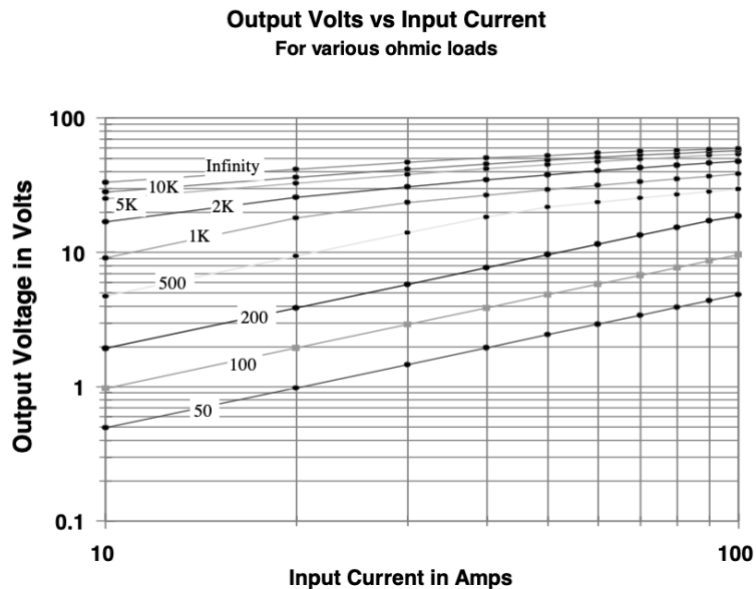
### **2.2. Sensor transformador de corriente**

En esta fase se detalla la descripción, localización e instalación del sensor transformador de corriente cuyo objetivo es la medición de la corriente que esta circulando por el cable general de entrada al hogar y la adecuación de la señal en tensión. Para la obtención de esta medida ,en vista de no contar con las facilidades necesarias, se simulará usando otros elementos de corriente como electrodomésticos.

El funcionamiento del elemento de estudio en este apartado es por efecto Hall, es decir, por el interior del sensor que contiene una bobina se hace circular una corriente, en este caso la corriente de entrada en el hogar, induciendo un campo magnético. Este campo magnético ejercerá una fuerza transversal sobre los electrones desembocando en una división de las cargas. Para la compensación de esta fuerza se induce una fuerza electromotriz (f.e.m), en sentido contrario a la transversal, produciendo un voltaje medible [13].Este voltaje del que se habla es el

utilizado en el microcontrolador para conocer la corriente que entra en el hogar y así desarrollar futuros cálculos.

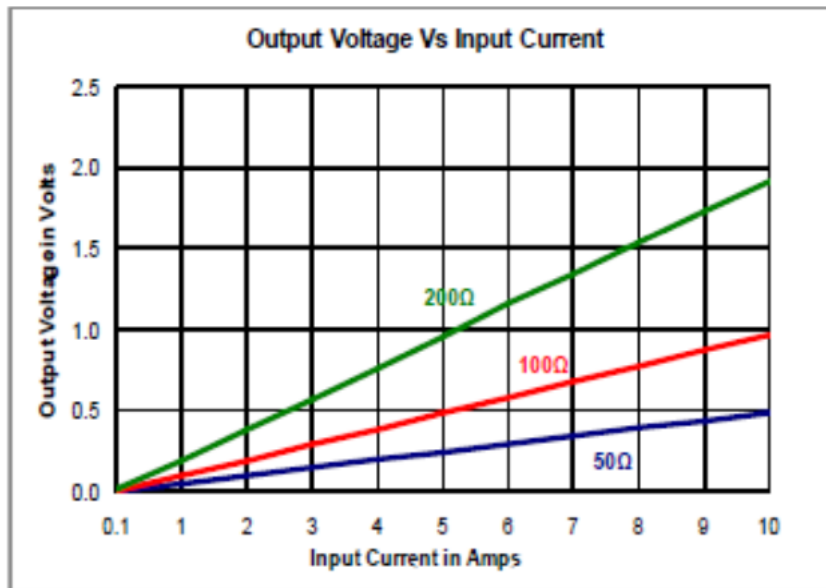
En un primer momento se opta por un sensor cuyo rango de medida va desde los 10 a los 125 amperios como máximo y cuya relación de transformación se muestra en la siguiente figura.



**Figura 5.** Relación corriente de entrada-tensión de salida del sensor [19].

Se observa las distintas respuestas del sensor ante distintas cargas, es decir, si se conecta al dispositivo una resistencia de 100  $\Omega$  la relación de transformación será distinta a la conexión de una resistencia de 5 K $\Omega$ , en el primer caso la relación es más lineal que en el segundo. Se rechaza esta opción puesto que, los ensayos se realizan con un conjunto de dispositivos eléctricos cuyo rango de funcionamiento va de los 0 a los 10 amperios y por no contar con una fuente de tensión debido a la situación actual. Esto hace que no sea posible su uso al mostrarnos datos no fiables ante amperajes más bajos al citado.

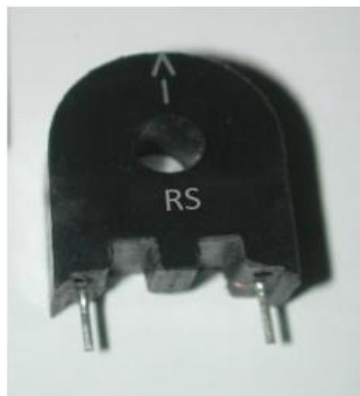
Por lo tanto, se selecciona un dispositivo similar pero cuyo rango se adapta mejor al de estudio, en el que la medición comienza a partir de los 0.1 amperios hasta los 10 A.



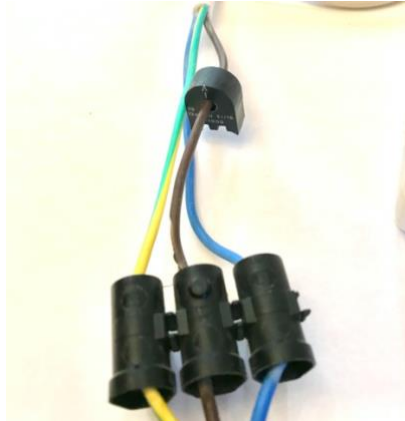
**Figura 6.** Relación corriente de entrada- tensión de salida del sensor [16].

En el proyecto se utiliza una resistencia de  $220\ \Omega$ , cuya relación entre la corriente y el voltaje se indica en los resultados, véase *figura 19*. La utilización de esta magnitud de resistencia viene motivada por el hecho de obtención de un rango de voltaje más amplio de 0 a 2 V en comparación con las resistencias de 200, 100 y 50 ohmios y además de la adecuación con la resistencias con las que se cuenta.

El dispositivo se localiza instalado en el cable de la base múltiple, para ello ha sido necesario el acondicionamiento del mismo, ya que, el grosor del cable es superior al diámetro de paso del sensor, véase *la figura 8*. A través del sensor solo puede pasar el cable de corriente o fase puesto que si además incluimos el cable de tierra la misma corriente estará fluyendo en sentido contrario y por tanto la suma será cero. Además, se tiene que ubicar en el sentido de la corriente, para su señalización el sensor cuenta con una flecha indicativa.



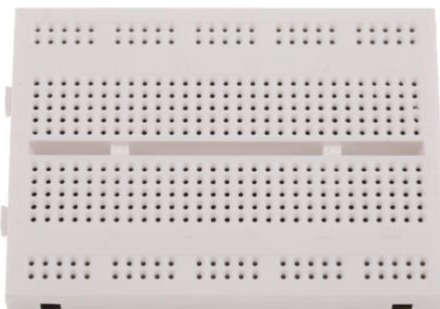
**Figura 7.** Sensor transformador de corriente.



**Figura 8.** Localización del sensor.

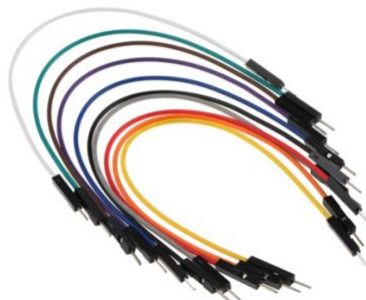
### **2.3. Conexión de los componentes**

Los componentes se conectan usando una placa de prototipado de pequeño tamaño y sin necesidad de soldadura. Cuenta con 390 puntos de conexión y sus dimensiones son 80x60x10mm.



**Figura 9.** Placa de prototipado.

Por otro lado, para realizar el enlace entre los componentes dentro de la placa se usan cables macho a macho de 15 centímetros de longitud

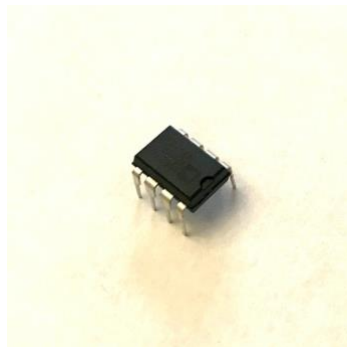


**Figura 10.** Cables macho a macho.

## 2.4. Amplificador de instrumentación

La intención de uso del amplificador es aumentar la señal de voltaje de salida del transformador, lo que se traslada en un aumento del ruido residual. Para que este aumento de ruido sea bajo o similar a cero se elige un amplificador de instrumentación, ya que este tipo de amplificadores presentan una alta precisión y propiedades de eliminación de ruido. El amplificador de instrumentación se compone de un circuito formado por amplificadores operacionales y resistencias de precisión integrados en un solo encapsulado [15].

En el proyecto se descarta el uso del amplificador puesto que la señal de salida del transformador no es débil, en un rango de 0 a 2 V aproximadamente, y como se comenta más adelante la resolución del microprocesador Arduino es 3,22 mV. En un principio, se considera el uso del amplificador de instrumentación, ya que, algunos sensores cuentan con relaciones de transformación muy altas, lo que se traduce en una señal muy débil y consecuentemente hace imposible la distinción entre el ruido residual y la verdadera señal. Otro motivo por el que se descarta el uso del amplificador es que si no se quiere aumentar la tensión, la ganancia del amplificador debe ser igual a uno ( $G=1$ ), para este valor de ganancia es necesario una resistencia mayor de 100 k $\Omega$ , debido a una situación extraordinaria no se cuenta con una resistencia de este valor.



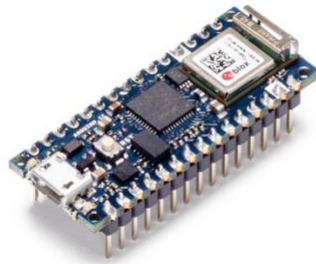
**Figura 11.** Amplificador de instrumentación.

## 2.5. Microcontrolador Arduino

En el procesamiento de datos es necesario el uso de un microcontrolador para la recogida de datos y más tarde su almacenamiento y uso para el análisis de las distintas variables objeto de medición.

Para el alcance de este propósito, se opta por un microprocesador de calidad, de la marca Arduino, pero cuyo precio es asequible y su tamaño adecuado para la creación de un medidor de energía de bajo coste y de pequeñas dimensiones. El

Arduino Nano 33 IoT, cuenta con las características apropiadas para el desarrollo del proyecto.



**Figura 12.**Microcontrolador Arduino [1].

El autómata programable está basado en un microcontrolador SAMD21D de 32 bits y un chip de baja potencia que opera en el rango de 2.4GHz, cuenta con catorce pines digitales y ocho pines analógicos. Trabaja a una tensión de funcionamiento de 3.3 V [1]. Además, el dispositivo integra conexión WiFi para el enlace con el Internet de las cosas. Aunque no existe una definición única de lo que califica como un dispositivo IoT, estas tecnologías generalmente se caracterizan por su ubicua conectividad de red, intercambio de datos, monitoreo remoto e interacción entre ellos y / o humanos [17].

La empresa Arduino pone al alcance de todos una aplicación de descarga gratuita en ordenadores y así facilita la programación del mismo utilizando un lenguaje propio, incluyendo librerías con ejemplos. Este es otro motivo por el cual se elige el microcontrolador Arduino Nano.

## **2.6. Alimentación del Arduino**

La intencionalidad de ubicación del dispositivo es dentro de la caja contador del hogar, lugar aceptable debido a las dimensiones del dispositivo. Surge entonces, la cuestión de como se puede alimentar el microprocesador dentro de este sitio.

El Arduino Nano puede ser alimentado de dos maneras, a través del conector USB con un voltaje de 5 V o por el pin Vin en una rango de 4,5 V a 21 V como máximo [1].

En primer lugar se propone el uso de pilas recargables duracell AA de 1,2 V cuya capacidad es 2500mAh. Si se conectan en serie 4 pilas como está, el voltaje equivalente es de 4,8 V aunque el voltaje se adicione la capacidad de es la misma. Si se usan pilas de 9 V la capacidad es de 170 mAh [4].

El objetivo para reducir el consumo de la placa Arduino es establecer una modificación en el código. Se programa que inicialmente el Arduino envíe durante 15-20 segundos un dato a la nube, después de enviarlo el microcontrolador se va a dormir usando el modo "Sleep", es decir, deja de funcionar durante un tiempo establecido de cinco minutos, con esto conseguimos reducir el consumo en este tiempo. Transcurrido el tiempo de 5 minutos el microcontrolador comienza a funcionar de nuevo y enviará otro dato. El proceso se repite infinitamente puesto que forma parte de una función en bucle. Todo lo descrito anteriormente, queda reflejado en el *apartado 2.10* donde se habla del uso de la librería "ArduinoLowPower.h". Otro objetivo es prescindir de elementos no necesarios como es la pantalla LCD que aumenta el consumo de energía.

Estas soluciones reducen el consumo considerablemente, pero no son suficientes para el uso de las baterías anteriores. Consecuentemente, se plantean alternativas para la alimentación del Arduino Nano:

- Baterías externas: La conexión de la batería externa se da por el conector USB a 5 V. Un ejemplo de este tipo de baterías es Pilot X7 de PowerADD con una alta capacidad de 20000 mAh, 8 veces mayor que las pilas de duracell de 1,2 V y diseño de entrada 2 A y diseño de salida 3,4 A. Su precio en el mercado es 25,99\$ equivalente a aproximadamente 23 € [14].
- Panel solar: Los paneles solares portátiles permiten su fácil colocación en cualquier ubicación. El panel solar de BigBlue de 28 W con salida USB 5V y corriente de salida 2,4 A permitiendo una carga adaptada al dispositivo diseñado a un precio de 63,99€ [2].
- Enchufe: dentro del contador podemos instalar un enchufe y alimentar directamente el dispositivo con un cargador USB 5V, una solución de bajo coste y que asegura una alimentación constante.

## **2.7. Lenguaje y código**

Una vez enlazados los elementos anteriores es necesario crear un código fuente, para el procesamiento de los datos que se obtienen de la medición del transformador y su recepción en el ordenador. El lenguaje utilizado, indicado con anterioridad, es un lenguaje propio basado en el lenguaje C++. El programa necesita



identificar el final de una línea de programación para continuar ejecutando el programa, para eso, es necesario al final de cada línea donde comando, el uso de ; (punto y coma) [12].

Lo que hace que el lenguaje Arduino se diferencie de C++ es el uso de librerías propias, en el proyecto se usan algunas como;

- ThingSpeak.h: librería para la conexión con la nube.
- WiFinINA.h: librería que activa la conexión del WiFi.
- secrets.h: librería que convierte en confidencial las claves.

Algunas de las funciones que se utilizan en el proyecto y a modo de ejemplo explicativo son las siguientes;

- void setup(): se trata de una función de inicialización, es decir, el código escrito afectado por esta función se inicia solo una vez, después de esto deja de tener uso lo escrito. En el proyecto se utiliza para indicar al autómata el inicio de la transferencia de datos a una velocidad de 9600 bits por segundo, con el comando Serial.begin(9600).
- void loop(): al contrario que la anterior función, todo código escrito dentro de esta función se repetirá infinitamente, a no ser que se indique un límite característico. Es aquí donde se produce el desarrollo del proyecto en la medición de datos. Para la medición es necesario indicar en que pin del Arduino está conectado el transformador de corriente. En el proyecto se utiliza el pin analógico cero (A0).
- Serial.print(): para la muestra de los datos en el monitor serie se usa esta función lo que nos facilita la visualización de los mismos en la primera etapa del proyecto.
- delay(): con esta función se indica el tiempo al que se va actualizar el monitor serie en milisegundos.

## 2.8. Acondicionamiento de señal senoidal

En este apartado del capítulo se trata de acondicionar la señal de entrada en el hogar, corriente alterna, a su equivalente en corriente continua, para facilitar el procesamiento de datos.

El microcontrolador recibe la señal transformada de tensión a través del pin analógico 0, la señal se recibe en bits. Se usa la aplicación Arduino IDE para escribir el código que permita visualizar esos datos en valores de tensión y finalmente queden representados.

```
float voltajesensor; //declaramos la variable

void setup()
{
    Serial.begin(9600); //velocidad de transferencia de datos
}

void loop()
{
    voltajesensor = analogRead(A0) * 3.3 / 1024; // Lectura del pin analógico y asociación
    //a la variable voltajesensor. El conversor analógico digital es de 10 bits. 2^10

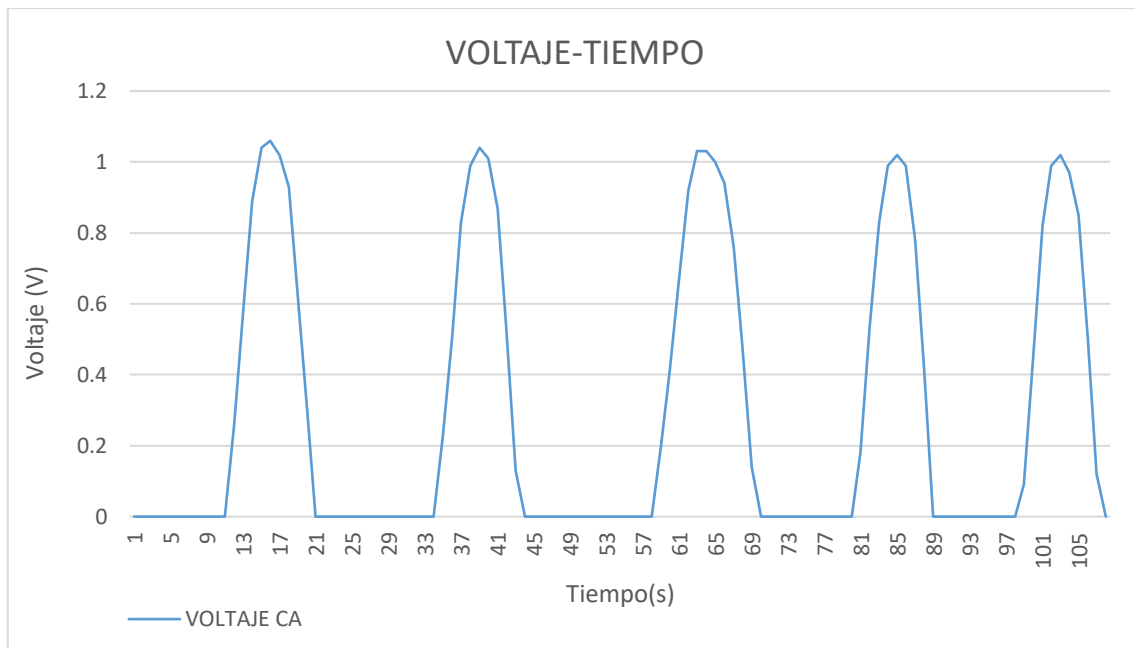
    delay(1000); // muestra en el monitor serie cada segundo
    Serial.print(voltajesensor); //visualización del valor por el monitor serie
    Serial.println("V"); //visualización de la unidad en la que se mide el valor.Voltios
}
```

Para convertir los bits en voltios se realiza un simple regla de tres. El pin del autómatas tiene un conversor de 10 bits por defecto y el máximo valor de tensión de funcionamiento es 3,3 V. Por tanto;

$$Voltajesensor = analogRead(A0) * 3,3/1024$$

**Ecuación 1.**

La representación gráfica de los resultados obtenidos usando como fuente de corriente un calefactor funcionando a la mitad de su potencia es:



**Figura 13.** Señal de tensión en C.A.

Como se observa es una señal senoidal rectificada de la corriente alterna, puesto que cuando los valores son menores que cero el Arduino hace que la señal mostrada sea cero. En un principio, el valor del pico de onda y el periodo son mayores, esto se debe a que el dispositivo se conecta en el momento de la medición y la señal no ha tenido el tiempo suficiente para estabilizarse.

Se define como valor eficaz o RMS (root mean square-raíz media cuadrática) al valor del voltaje o corriente alterna que produce el mismo efecto de disipación de calor que su equivalente de voltaje o corriente, en corriente continua sobre una misma resistencia [9]. Consecuentemente se puede calcular el valor de voltaje eficaz de la señal anterior para encontrar la equivalencia en corriente continua como sigue: La onda de voltaje senoidal de un periodo determinado "T" es constante y puede ser definida como:

$$V_{(t)} = V_{\text{máxima}} * \cos (wt). \quad \text{Ecuación 2.}$$

Si se calcula el valor de la raíz media cuadrática de la señal de voltaje senoidal.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_{m\acute{a}xima}^2 * \cos^2(\omega t) dt}$$

**Ecuaci3n 3.**

Integrando los l3mites de 0 a “T”

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{V_{m\acute{a}xima}^2}{2T} \left[ t + \frac{1}{2\omega} * \sin(2\omega t) \right]_0^T}$$

**Ecuaci3n 4.**

Se tiene en cuenta que la velocidad angular es igual a:

$$\omega = 2\pi/T$$

**Ecuaci3n 5.**

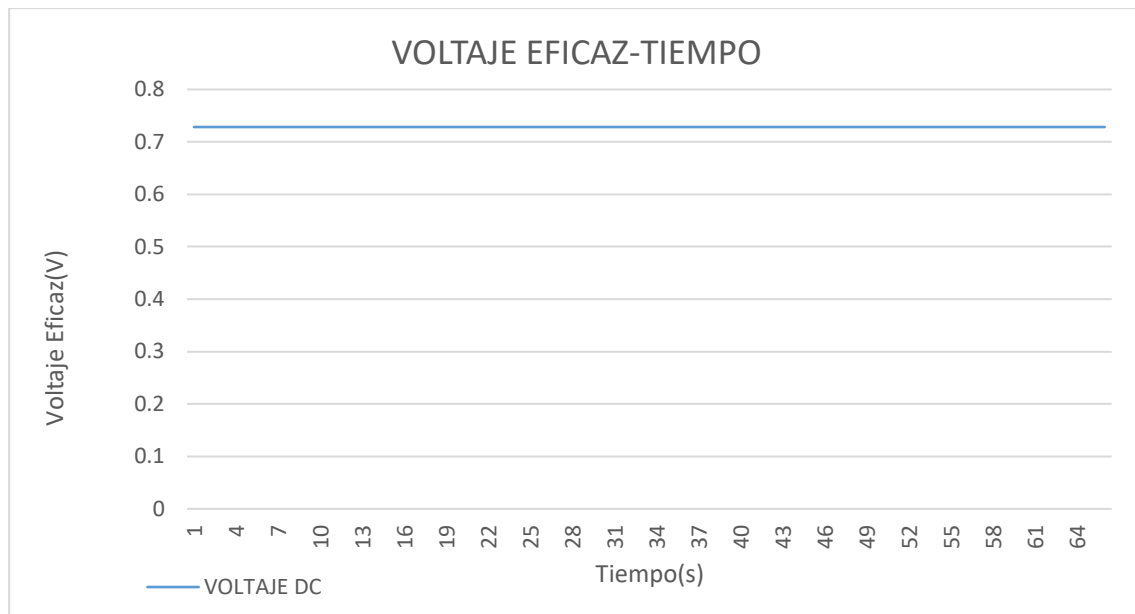
Por lo tanto, la ecuaci3n reducida es:

$$V_{RMS} = V_{m\acute{a}ximo} * \frac{1}{\sqrt{2}} = V_{pico} * 0,7071.$$

**Ecuaci3n 6.**

[7].

Si se traduce lo anterior al c3digo del microprocesador de una se1al estable y sin ruido, se obtienen los valores del equivalente en corriente continua.



**Figura 14.** Señal equivalente de tensión en C.C.

Así, se procederá con el cálculo del valor de corriente eficaz para poder realizar operaciones y obtener nuevas variables.

## 2.9. Almacenamiento y muestra de datos

La computación en la nube es un modelo para permitir el acceso de red ubicuo, conveniente y bajo demanda a un grupo compartido de recursos informáticos configurables (por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que se pueden aprovisionar y liberar rápidamente con un mínimo esfuerzo de gestión o interacción del proveedor de servicios[11].

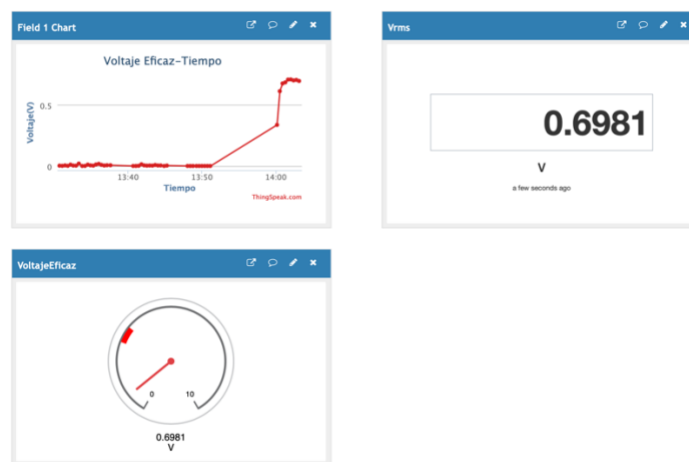
Los datos recogidos por un controlador deben ser almacenados en un lugar externo al mismo, por este motivo es necesario la búsqueda de una nube. La elección para este proyecto ha sido la nube creada por Mathswork llamada ThingSpeak. Antes de ser seleccionada se tantean otras como AWS de Amazon, GoogleCloud, Cayenne, etcétera. Finalmente, se selecciona ThingSpeak por la facilidad de codificación y vinculación con la tarjeta Arduino y por los diferentes complementos que pone a disposición, con los cuales se pueden realizar representaciones gráficas, control del tiempo, crear alertas... Además, al ser una aplicación de Mathswork nos permite realizar visualizaciones y análisis más completos en Matlab.

Para la vinculación del microprocesador con la nube, es necesario contar con dos librerías de Arduino en el código, cuyos nombres son "ThingSpeak.h" y

“WiFiNINA.h”. La primera de ellas permite la utilización de comandos para la vinculación de la nube y la segunda hace posible la conexión de la tarjeta a una red WiFi. Una vez codificada dicha vinculación podremos visualizar los datos en el ordenador.

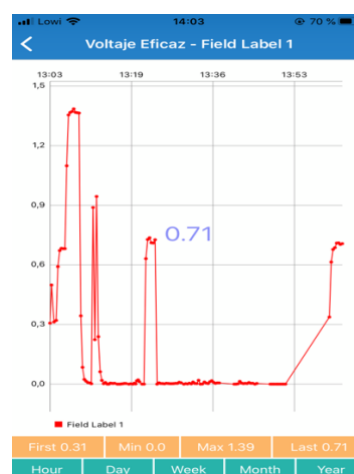
La visualización de los datos es por canales y es posible la creación de ocho canales distintos de transmisión, es decir, se pueden enviar a almacenamiento hasta ocho variables distintas, más que suficientes para el proyecto.

En el canal se representa gráficamente la variable objeto de estudio en tiempo real y permite examinar los datos por horas, días, semanas, meses y años. También cuenta con “widgets” como pantalla numérica, calibrador..



**Figura 15.** Ejemplo de mediciones en ThingSpeak

Por otra parte, Mathswork crea una aplicación para “smarthpone” que da acceso a cualquier usuario que lo desee al canal, para la visualización de la variable. Solo se necesita introducir la identificación del canal y la contraseña que establece el creador del canal.



**Figura 16.** Aplicación Thingview de ThingSpeak

En la aplicación se puede observar el dato instantáneo en pantalla y la gráfica que representa la muestra tomada en diferentes periodos de tiempo así como también el primer y último dato , mínimo y máximo.

Previo al uso de esta aplicación se hizo uso de otra denominada Blynk, cuya función es la misma que la anterior, mostrar los datos. Aunque Blynk es una aplicación limitada que solo permite usar ciertos elementos al mismo tiempo, lo que reduce el rango de utilidad y es necesario la creación de una codificación distinta en Arduino. Esta es una de las razones por la que se decanta por ThingSpeak.



Figura 17. Aplicación móvil Blynk.

Las alertas ,en ThinkSpeak, del dispositivo llegan a través de la aplicación Twitter. Por tanto, es necesario crear una cuenta para la recepción, en ella se recibirán las alertas codificadas previamente en la nube. Se crean dos alertas, una que indica que no hay consumo de electricidad que puede ser por desconexión del dispositivo o por del circuito del hogar por un fallo eléctrico y otra que indica la superación del límite de consumo establecido.

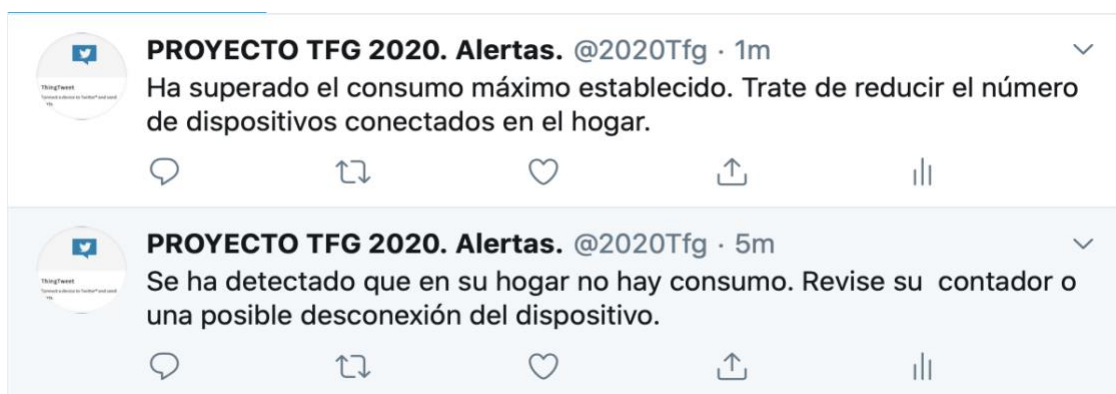


Figura 18. Alertas en Twitter.

## 2.10. Código fuente

```
//CÓDIGO USADO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO.

//Con las siguientes líneas se incluyen las librerías que van a ser usadas.

#include <WiFinINA.h> // Librería para la conexión Wi-Fi
#include "secrets.h"// Librería para la ocultación de usuarios y contraseñas
#include "ThingSpeak.h"//Librería para la conexión con la nube ThingSpeak
#include "ArduinoLowPower.h" //Librería que contiene los comandos para la reducción de consumo

// Se declaran las variables enteras, flotantes, booleano.

const int sensorcorriente = A0; // A0 es el pin donde se conecta el sensor de corriente.
float tensionred = 230.0;
float voltajesensor = 0;
float voltajepico = 0;
float Vrms;
float Vrms1;
float Irms;
float Irms1;
float Potencia;
float Potencia1;
int sleeping_time = 300000; // Tiempo que se mantiene dormido, 5 minutos.
bool awake = true;

// Datos de la red Wi-Fi.

char ssid[] = SECRET_SSID; // Nombre de la red.(dato confidencial)
char pass[] = SECRET_PASS; // Contraseña de la red.(dato confidencial)
int keyIndex = 0; // Número índice de tu contraseña de red (solo se necesita para WEP)
WiFiClient client;

// Datos de los canales de ThinkSpeak, se ocultan los nombres de los canales y contraseñas.

unsigned long myChannelNumber = SECRET_CH_ID;
const char * myWriteAPIKey = SECRET_WRITE_APIKEY;

unsigned long myChannelNumber1 = SECRET_CH_ID;
const char * myWriteAPIKey1 = SECRET_WRITE_APIKEY;

unsigned long myChannelNumber2 = SECRET_CH_ID;
const char * myWriteAPIKey2 = SECRET_WRITE_APIKEY;

int number = 0;

// Función de inicialización, solo se activará una vez.
// Función de inicialización, solo se activará una vez.

void setup() {
  Serial.begin(115200); // Inicialización del monitor serie.

  // Comprobación de la conexión Wi-Fi.
  if (WiFi.status() == WL_NO_MODULE) {
    Serial.println("Communication with WiFi module failed!");
    // don't continue
    while (true);
  }
}
```



```

}

String fv = WiFi.firmwareVersion();
if (fv != "1.0.0") {
    Serial.println("Please upgrade the firmware");
}
ThingSpeak.begin(client); //inicialización de ThingSpeak
}

// Función de repetición en bucle.

void loop() {

    // Comprobación de la conexión Wi-Fi, en caso de no estar conectado, establece la reconexión.
    if(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
        Serial.print("Attempting to connect to SSID: ");
        Serial.println(SECRET_SSID);
        while(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
            WiFi.begin(ssid, pass);
            Serial.print(".");

            delay(5000);
        }
        Serial.println("\nConectado.");
    }

    //Comandos de cálculo

    long tiempo = millis(); // Con este comando se almacena los milisegundos desde que el programa se empezó a ejecutar.
    while (millis() - tiempo < 1000) // realizamos mediciones durante 1 segundo
    {
        voltajesensor = analogRead(sensorcorriente) * 3.3 / 1024; // Lectura del pin analogico y
        //asociacion a la variable voltajesensor. El conversor analogico digital es de 10 bits.

        if (voltajesensor > voltajepico)voltajepico = voltajesensor; // Almacenamiento del voltaje pico.
    }
    //Con el código anterior se están realizando mediciones de la onda senoidal durante un segundo,
    //y almacenando el mayor valor de voltaje del sensor para así obtener el voltaje pico.

    //Una vez obtenido el voltaje pico se procede al cálculo de valor eficaz de voltaje.

    Vrms=voltajepico*0.7071;//Voltaje eficaz, SIN ELIMINAR EL ERROR

    Vrms1 = ((voltajepico-0.095) * 0.7071); //Voltaje Eficaz, ELIMINANDO EL ERROR QUE EN EL PROYECTO ESTÁ EN EL RANGO DE 0,08-0,11 V.
    if (Vrms1<0)Vrms1=0;//Filtrado de los valores menores que 0, para eliminar valores negativos de tensión.

    //Intensidad eficaz que circula antes del sensor, la relación de transformación 1,078V/5A para una resistencia de 220 ohmios (aprox.)

    Irms = (Vrms * 5)/1.078;//Corriente Eficaz, SIN ELIMINAR EL ERROR
    Irms1 = (Vrms1 * 5)/1.078; //Corriente Eficaz, CON EL ERROR ELIMINADO

    Potencia = Irms * tensionred;//Potencia Aparente, SIN ELIMINAR EL ERROR
    Potencia1 = Irms1 * tensionred; //Potencia Aparente, CON EL ERROR ELIMINADO

    //Conexión con los canales en ThingSpeak.

    int x = ThingSpeak.writeField(myChannelNumber, 1, Vrms1, myWriteAPIKey);
    int y = ThingSpeak.writeField(myChannelNumber1, 2, Irms1, myWriteAPIKey1);
    int z = ThingSpeak.writeField(myChannelNumber2, 3, Potencia1, myWriteAPIKey2);

    //MOSTRAR DATOS EN EL MONITOR SERIE

    //Serial.print(Vrms);
    //Serial.print(",");
    //Serial.print(average);
    //Serial.print(",");
    //Serial.print(voltajepico);
    //Serial.print(",");
    //Serial.print(Vrms1);
    //Serial.print(",");
    //Serial.println( millis()/1000);
    voltajepico = 0;

    delay(7000); // Se espera 7 segundos para actualizar los canales

```

```
//Comandos para poner el Arduino en modo "SLEEP"

if (awake) {

    Serial.println("I am awake");
    delay(2000);

}
awake = false;
LowPower.attachInterruptWakeUp(awake, WakeUp, CHANGE);
Serial.println("going to sleep");
LowPower.sleep(sleeping_time);
awake=false;

}
void WakeUp() {
    Serial.println("awake");
    awake = false;
}

} //FINAL DEL BUCLE Y DEL CÓDIGO
```

## 2.11. Presupuesto

A continuación, se muestra la tabla que incluye el precio de los elementos utilizados y el presupuesto total del proyecto.

**Tabla 2.** Presupuesto del proyecto.

Componente	Unidades	Coste/Unidad(€)	Coste total(€)
Microcontrolador Arduino Nano 33 IoT	1	21,12	21,12
Resistencias de carbón 0,25W, 5%, 220Ω	1	0,128	0,128
Placa de prototipado	1	9,78	9,78
Sensor transformador de corriente	1	3,64	3,64
Cables Macho a Macho	2	0,241	0,482
PRESUPUESTO TOTAL €			35,15

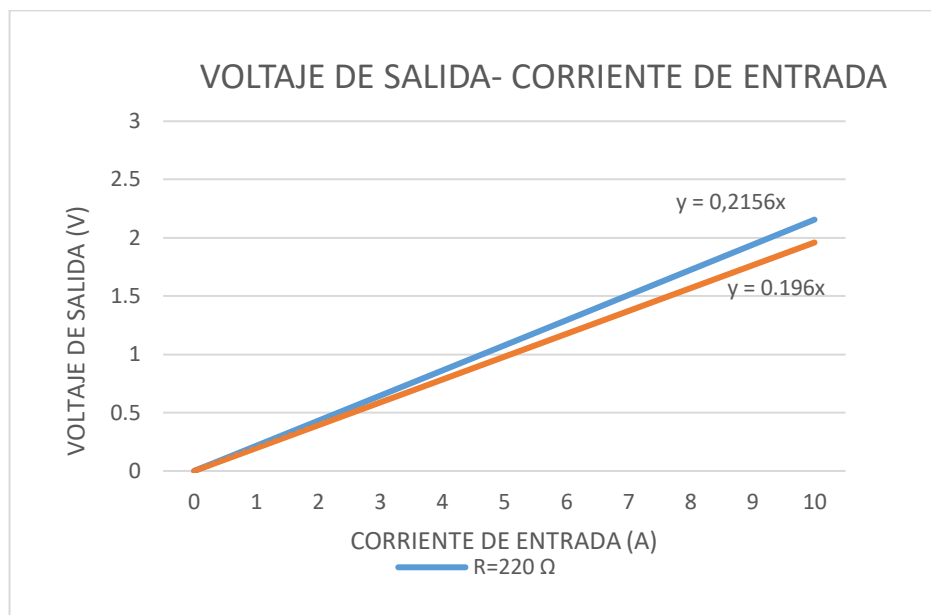
En el presupuesto no se incluye el precio de la alimentación por contener alternativas a elección del consumidor.



### 3. Resultados

En este capítulo se procederá a la muestra de todos los resultados obtenidos durante el proceso de realización del dispositivo. El código usado es el mismo que el anterior, en el *apartado 2.10*, pero con una frecuencia de muestra de 1 s, para agilizar la recogida de datos.

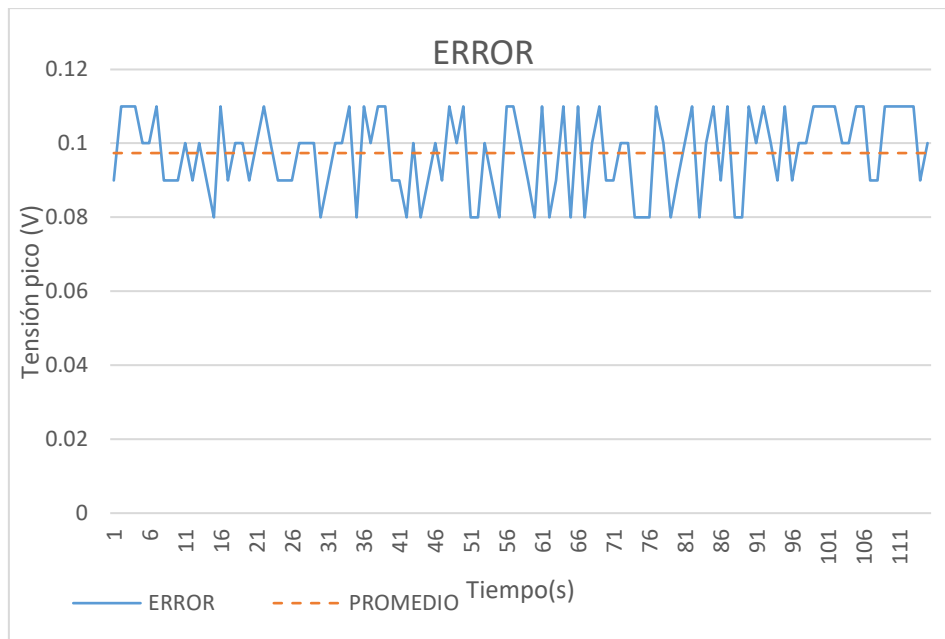
Como se indica con anterioridad, la carga resistiva utilizada en el sensor es de 220 ohmios, por tanto, será necesario la obtención de la relación de transformación de esta resistencia para la clarificación y justificación de los datos obtenidos.



**Figura 19.** Relación entre tensión y corriente del sensor.

#### 3.1. Eliminación/reducción de error

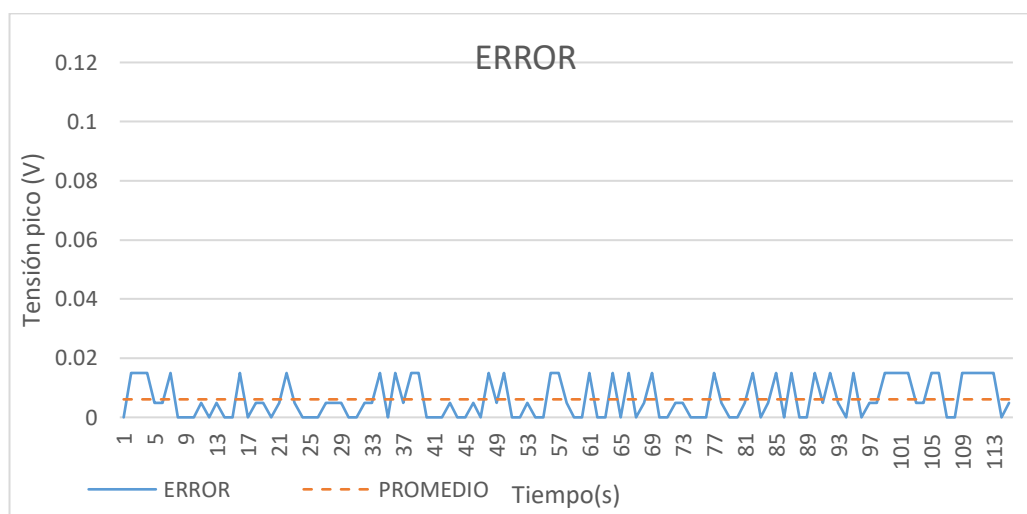
Uno de los principales problemas encontrados es la aparición de una señal de tensión pico residual en situación de corriente cero. Lo que se traduce en unos resultados no concluyentemente positivos, con un error o desfase promedio de valor 0,0973 V , como muestra la siguiente figura donde se realiza una medición durante dos minutos.



**Figura 20.** Gráfica error.

El rango de error está entre los valores 0.08-0,11 V, aunque el error parezca casi imperceptible cuando se calcula la potencia se obtiene una señal no fiable de una magnitud de error de, al menos, 250 VA. Para la reducción de este error en primer lugar, se redondea al valor de error promedio de 0,095V.

En el código, al realizar el cálculo de valor eficaz de tensión, se aplica una diferencia al voltaje pico de 0,095 lo que se traduce a un nuevo error de rango  $\pm 0,015$  V con ello se consigue tener un dato más cercano a tener un error nulo. Así se consigue tumbar esta señal residual lo que se traduce en una mayor fiabilidad de los resultados. Para no mostrar valores negativos en corriente cero en el código se impone la condición de que si se tiene un valor menor que cero la señal aparecerá como 0. El resultado del proceso descrito es el siguiente.

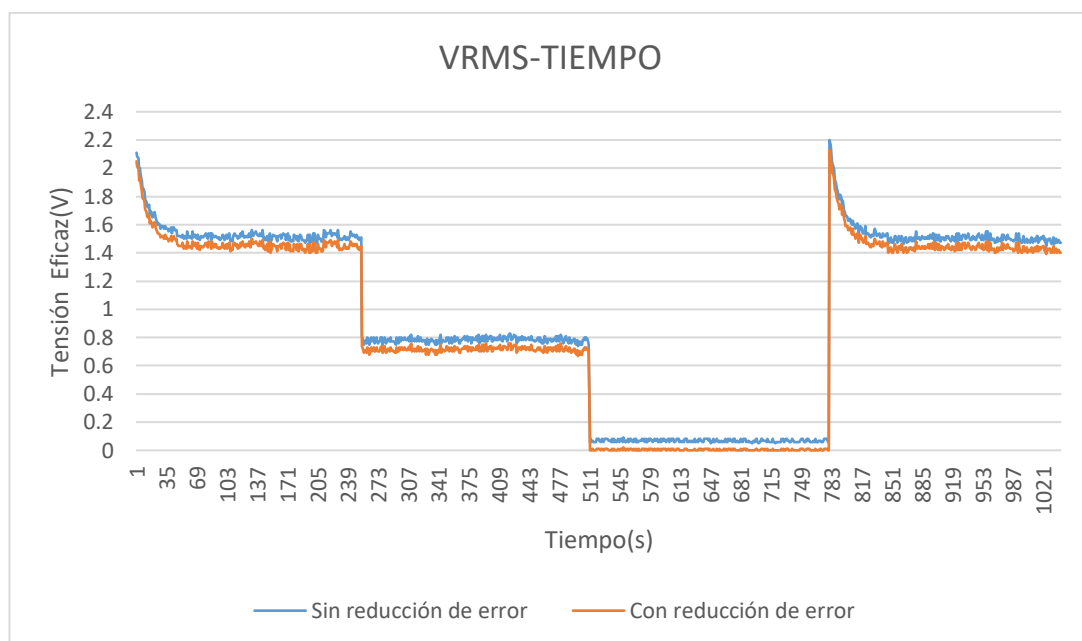


**Figura 21.** Reducción de error.

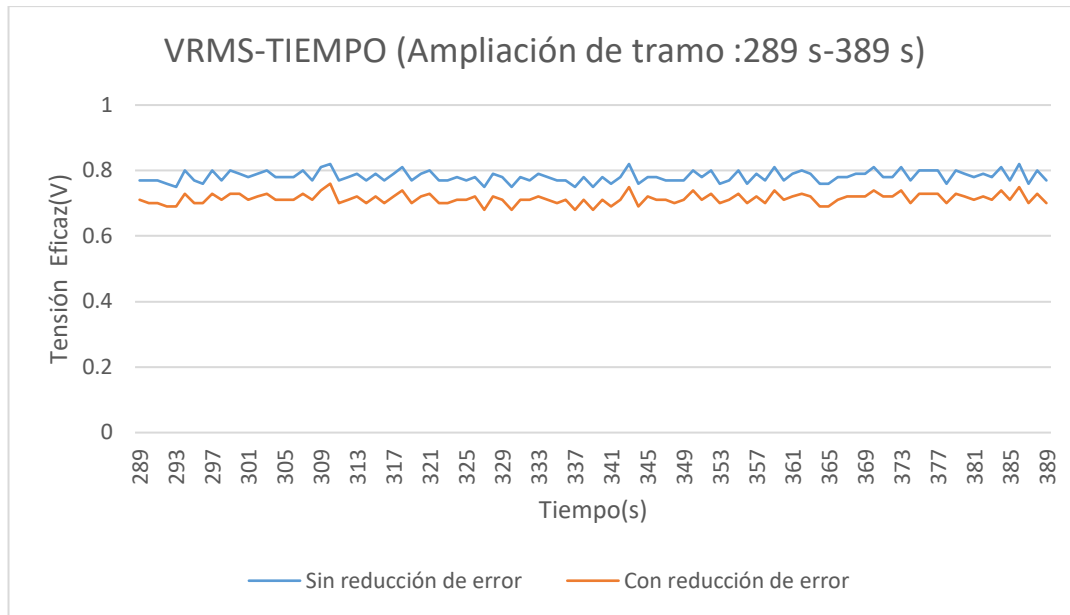
A continuación, se muestran figuras comparativas de distintas situaciones experimentales, donde se puede observar la influencia del error en nuestros resultados.

### 3.1.1 Calefactor

Durante el proceso de recogida de datos se evalúa el efecto del error en la tensión eficaz a la salida del sensor, corriente eficaz a la entrada del mismo y potencia de consumo de un calefactor Orbegozo Modelo RMN 2075 (en diferentes modos de funcionamiento). El calentador cuenta con tres posiciones de potencia 0, 1 y 2, en la posición cero el calefactor se encuentra apagado, es decir, no está circulando corriente y por tanto no hay consumo de potencia. Un modo intermedio y el último modo en el que consume la máxima potencia. El tiempo de medición en cada posición o modo es de 5 minutos aproximadamente, para todas las variables a medir. Al principio, el calefactor se encuentra en la posición 2 de funcionamiento, luego se va reduciendo a la 1 hasta finalmente llegar a la 0 y volver a cambiar a la 2.

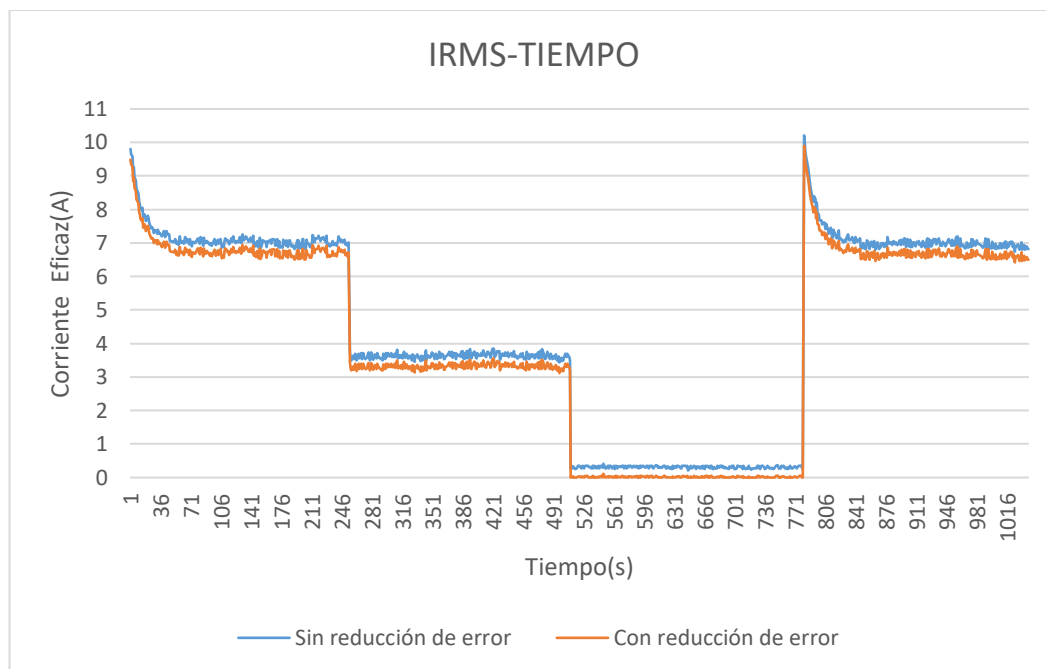


**Figura 22.** Relación tensión eficaz-tiempo de un calefactor



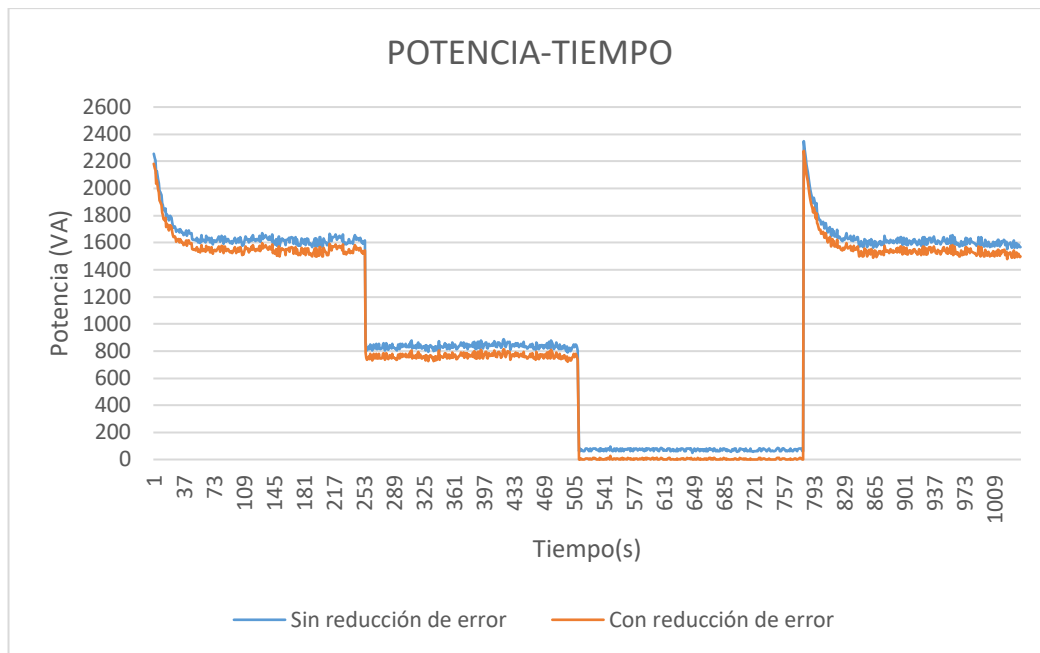
**Figura 23.** Ampliación de la relación tensión-tiempo de un calefactor

Cuando se representa la tensión eficaz la reducción del error no se hace notable pero más adelante, en la muestra de datos de potencia, se hace visible el cambio.



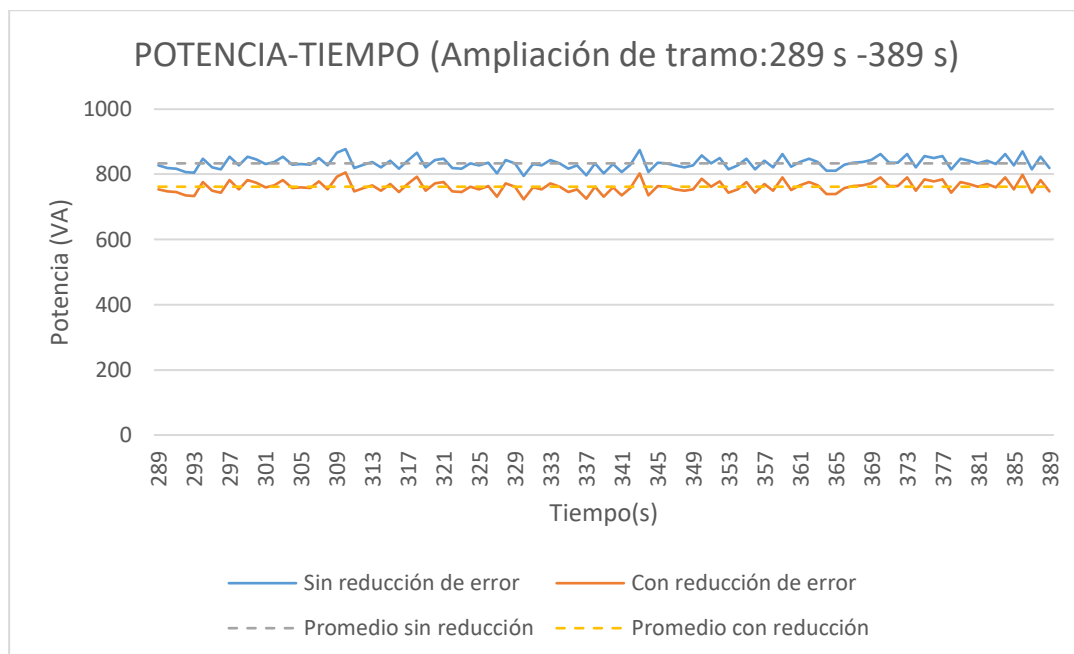
**Figura 24.** Relación corriente eficaz-tiempo de un calefactor

Conocida la relación de transformación del sensor, es sencillo calcular la variable de corriente eficaz, puesto que 5 A a la entrada del sensor corresponden a 1,078 V a la salida.



**Figura 25.** Relación potencia aparente-tiempo de un calefactor

A continuación, se muestra uno de los tramos de la gráfica anterior, en el modo 1 de funcionamiento entre los segundos 289 y 389 del calefactor para comparación del consumo de potencia.



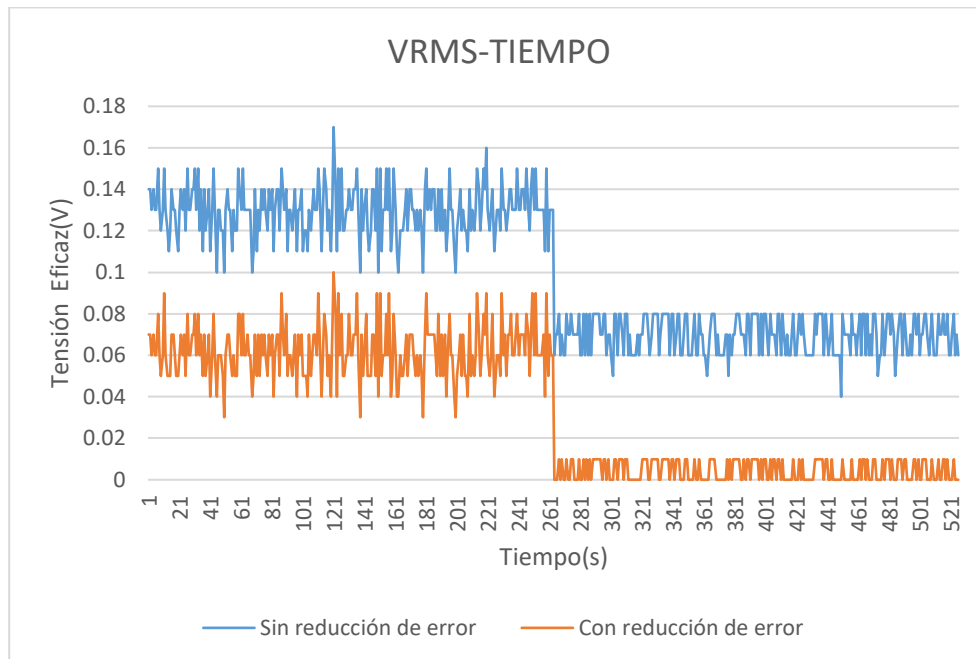
**Figura 26.** Ampliación relación potencia aparente-tiempo de un calefactor

En el caso de estudio, la diferencia entre los promedios, usando la reducción de error y prescindiendo de ella, es 71,66 VA, lo que hace notar un gran cambio en el consumo.

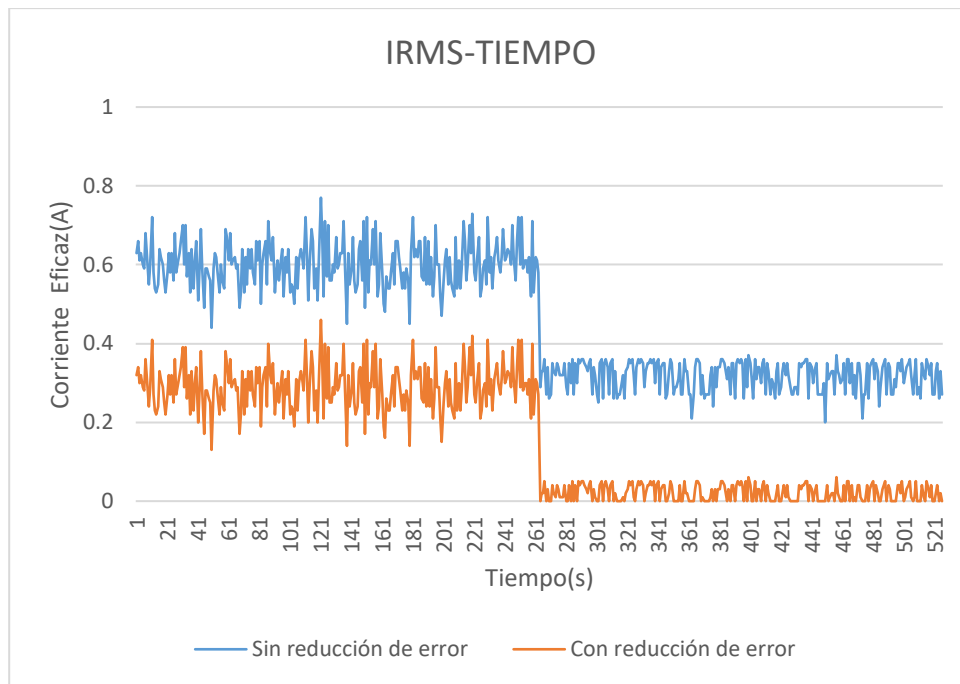


### 3.1.2 Televisión.

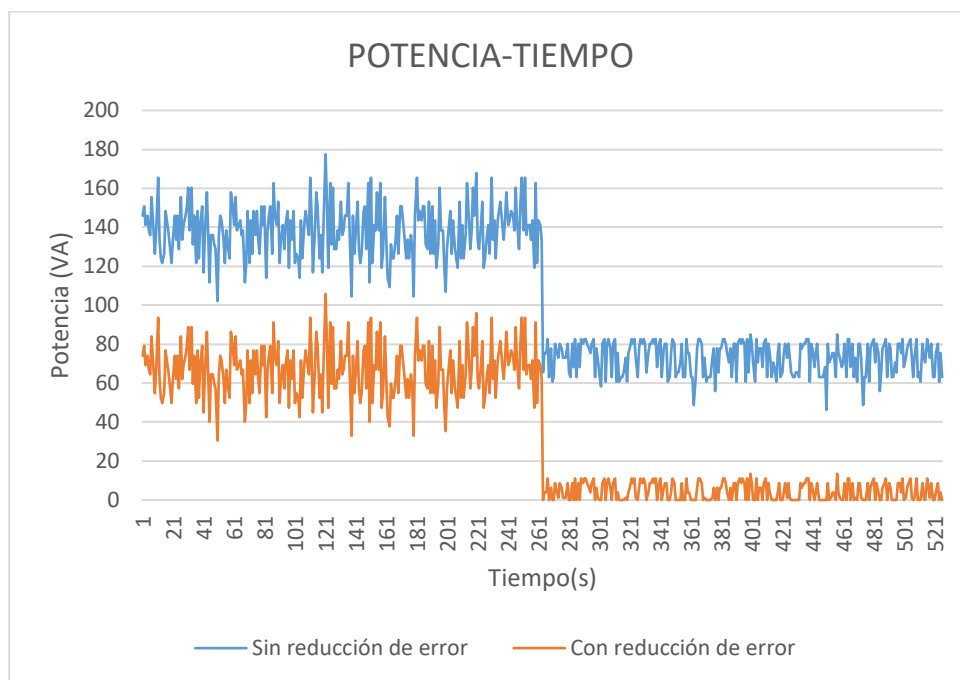
Durante el proceso de recogida de datos se evalúa el efecto del error en el tensión eficaz a la salida del sensor, corriente eficaz a la entrada del mismo y potencia de consumo de un televisor Samsung UE40D5500 cuando se encuentra encendido y apagado. En primer lugar dispositivo estará encendido por 5 minutos, luego se apagará.



**Figura 27.** Relación voltaje eficaz-tiempo de una televisión



**Figura 28.** Relación corriente eficaz-tiempo de una televisión



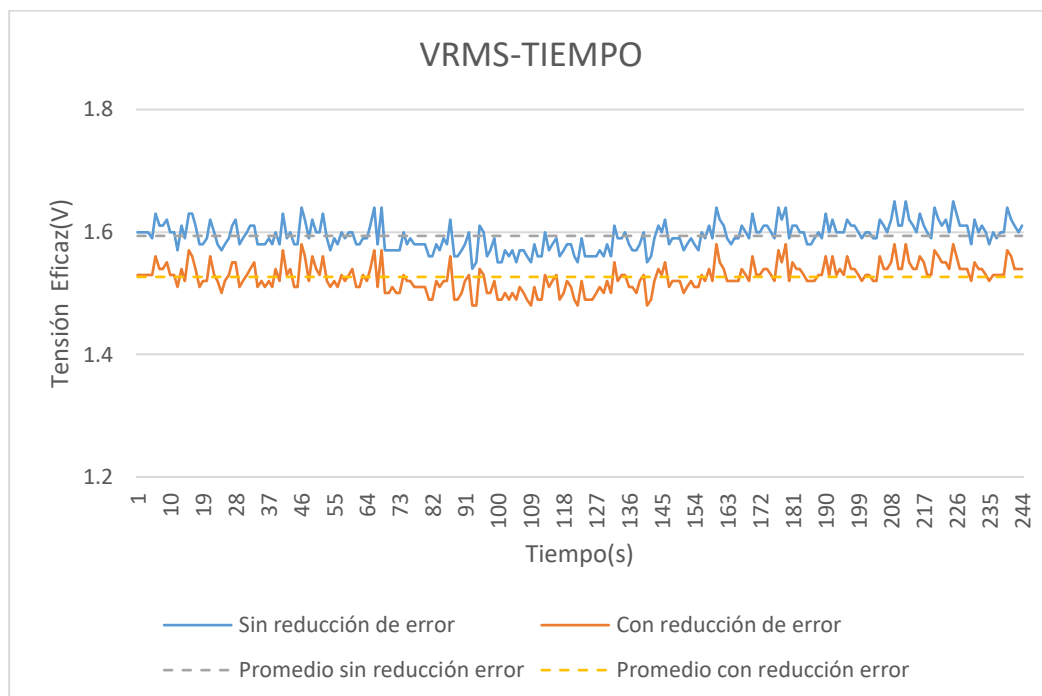
**Figura 29.** Relación potencia aparente-tiempo de una televisión

En este caso el promedio de la potencia cuando se prescinde del filtro es de 128,034 VA por el contrario, se reduce hasta el valor de 56,804 VA cuando se hace uso del mismo, lo que lleva a una diferencia concluyente de 71,23 VA.

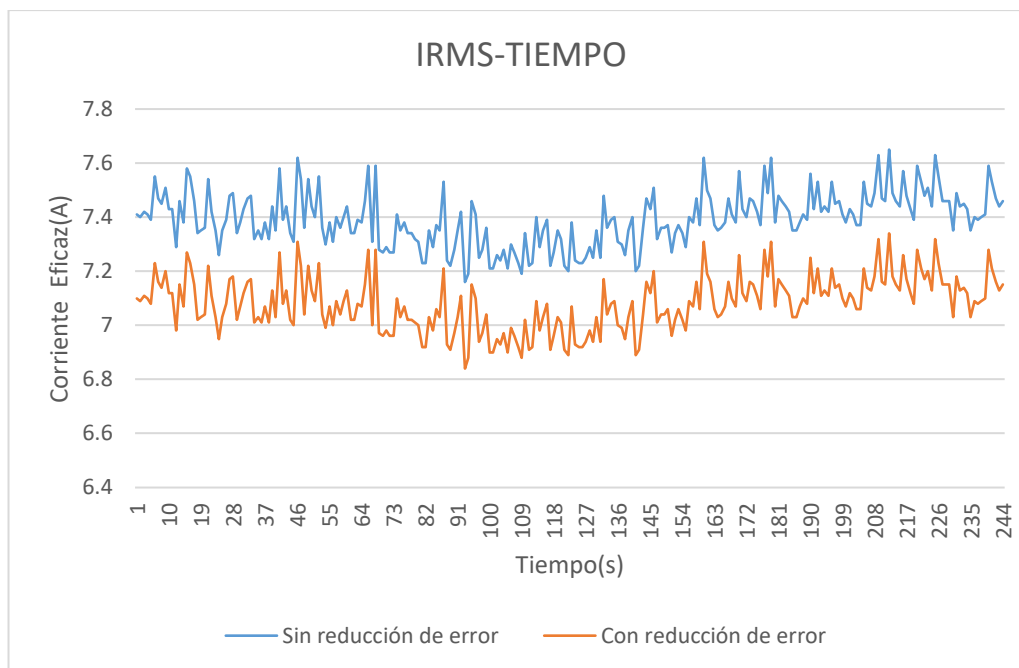
Si se realiza una comparación de la diferencia obtenida en este caso y en el apartado anterior, en el que se analiza un calefactor ambos datos son similares.

### 3.1.2 .Calefactor y Televisión

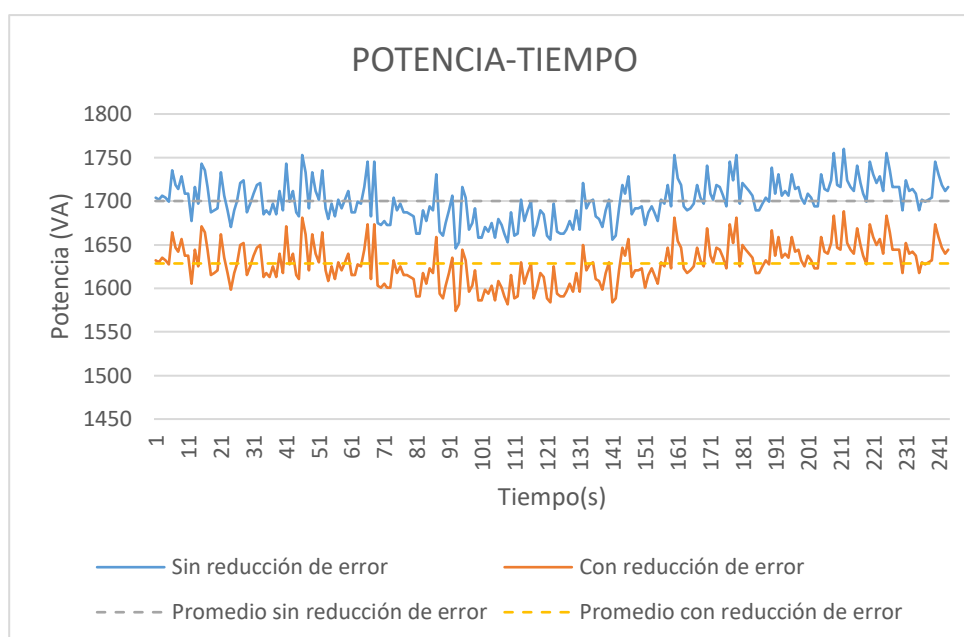
Durante el proceso de recogida de datos se evalúa el efecto del error en el tensión eficaz a la salida del sensor, corriente eficaz a la entrada del mismo y potencia de consumo del calefactor y televisión anteriores. El calefactor se encuentra funcionando a máxima potencia y la televisión encendida durante cuatro minutos. Con la siguiente evaluación de datos se quiere demostrar que cuanto mayores son los valores de tensión mayor es la precisión de los datos que se representan en la *tabla 3*.



**Figura 30.** Relación voltaje eficaz-tiempo del calefactor y televisión



**Figura 31.** Relación corriente eficaz-tiempo del calefactor y televisión



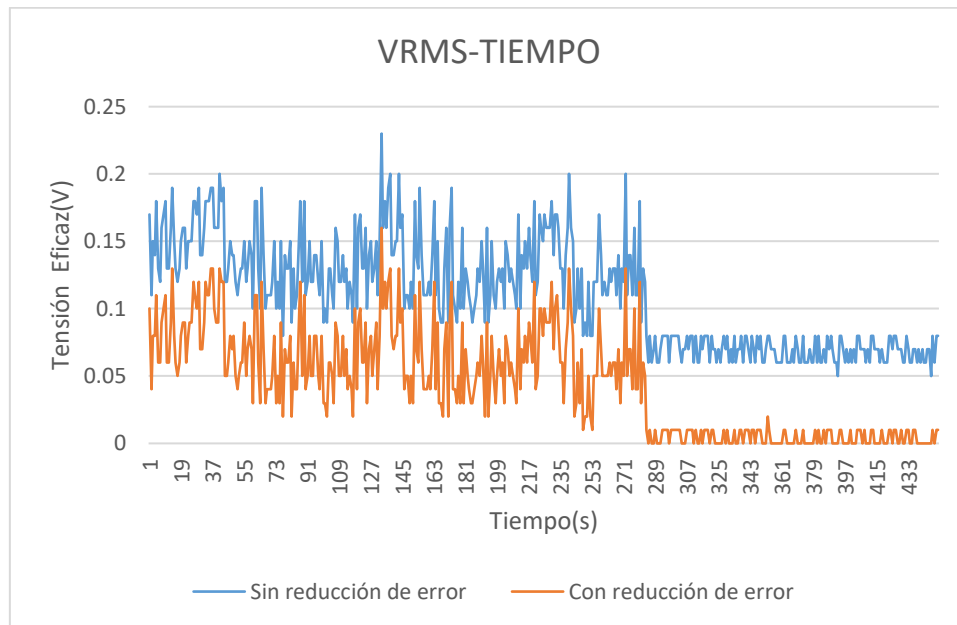
**Figura 32.** Relación potencia-tiempo del calefactor y televisión

Como se observa el valor de error de potencia aparente (71,66090164 VA) es muy similar al de los casos anteriores.

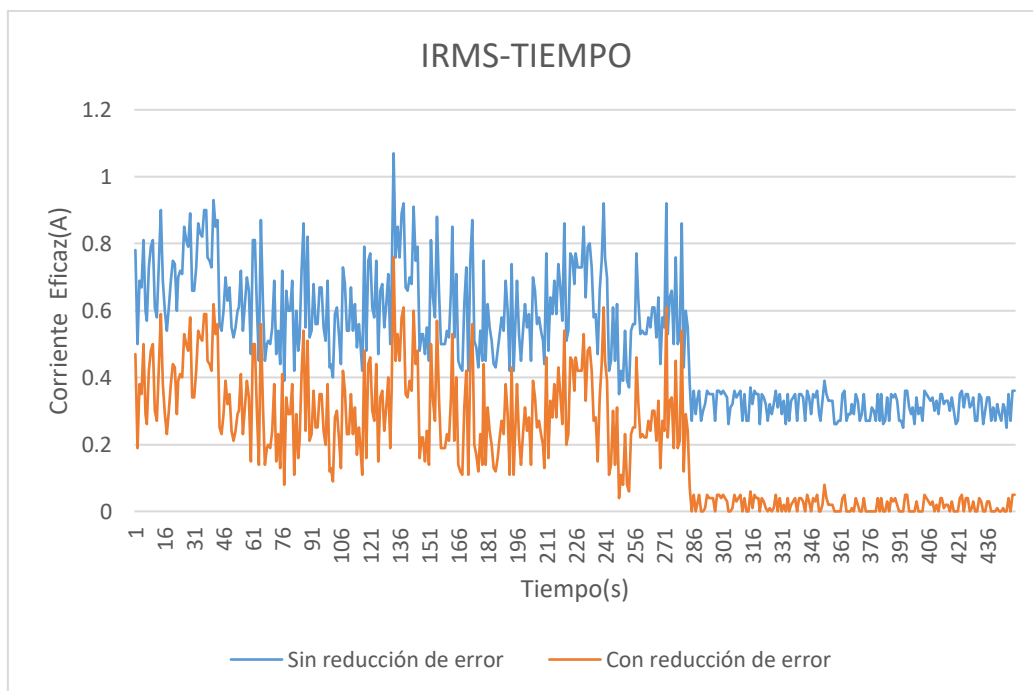
### 3.1.2 .Cargador

Durante el proceso de recogida de datos se evalúa el efecto del error en el tensión eficaz a la salida del sensor, corriente eficaz a la entrada del mismo y potencia de consumo de un cargador de ordenador MacBook Pro 13 " cuando este se encuentra

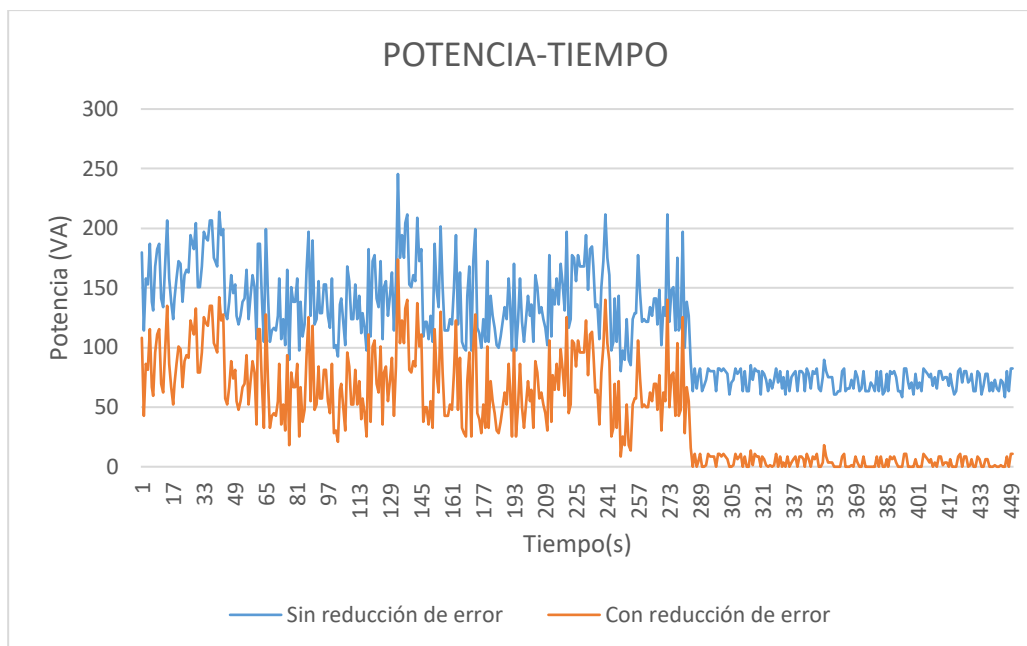
en funcionamiento, el proceso dura 5 minutos al transcurrir este tiempo se desconecta el cargador.



**Figura 33.** Relación voltaje eficaz-tiempo de un cargador



**Figura 34.** Relación corriente eficaz-tiempo de un cargador



**Figura 35.** Relación potencia aparente-tiempo de un cargador

Los datos en este caso son muy variables lo que hacen dudar de la fiabilidad de los datos.

### 3.2. Precisión

Una vez se realiza la recogida de datos mediante el uso del dispositivo se establece la precisión y el error de los mismos con el fin de tomar una perspectiva real sobre los datos tomados, encontrando así una concordancia entre los datos experimentales y los datos tomados usando una pinza amperimétrica.

**Tabla 3.** Cálculo de los dispositivos.

DISPOSITIVO	PROMEDIO EXPERIMENTAL (VA)	DATO AMPERÍMETRO(VA)	ERROR(%)	Precisión(%)
CALEFACTOR	Setting1:762,03	Setting1:883,2	Setting1:13,72	Setting1:97,506
	Setting2:1551,545	Setting2:1725	Setting2:10,05	Setting2:98
CALEFACTOR + TELEVISIÓN	1628,501	1828,5	10,94	98,57

De la tabla anterior, se deduce que cuanto mayor es el valor de potencia promedio mayor es la precisión de los datos que se están tomando puesto que el error no ocasiona perturbación residual en el resultado. Se trata entonces de una noticia

positiva, puesto que, en el hogar nunca van a estar conectados un cargador de móvil o un televisor solos, por el contrario la mayoría del tiempo estarán conectados la nevera, la iluminación, calentador de agua, aire acondicionado en verano... aparatos cuya suma de potencia es elevada.

Lo ideal hubiese sido mostrar la variación de la precisión a medida que varía la tensión de entrada en el Arduino, pero debido a la situación actual no ha sido posible contar con una fuente de tensión para este experimento.

### 3.3. Comparación

**Tabla 4.** Tabla comparativa.

Modelo	Engage Hub [6].	EmonPi [10].	Monitor EcoArt [5].	Shelly EM [18].	Emporia Vue[8].	PROYECTO
Frecuencia de transmisión (MHz)	433,5	433	433,93	2400-2500	2400	-
Precisión(%)	Hasta 98	>89	95	-	-	>97,5
Circuitos simultáneos	5 circuitos	2 circuitos	3 circuitos	2 circuitos	2 circuitos	1 circuito
Nube	Si	Si	Si, dos años	Si	Si	Si
Rango de medición corriente	50 mA - 120A	50 mA - 96 A	100 mA - 70 A	Hasta 120 A	2 A - 250 A	100 mA - 10 A
Rango de medición voltaje (VCA)	110 - 330	110 - 254	100 - 250	100 - 230	120 - 240	110 - 230
Tiempo de muestreo (s)	10	5	2,8,64	-	1	300
Alimentación	Monitor conectado a la corriente eléctrica y transmisor 3 baterías	Conexión a la corriente eléctrica	6 baterías, 3 pilas en el monitor y 3 en el transmisor	Corriente Alterna	Corriente Alterna	Diferentes alternativas
Monitor/ Aplicación Móvil y Plataforma web	Aplicación y Plataforma Web	Ambos	Monitor	Aplicación móvil	Aplicación móvil	Aplicación móvil y Plataforma Web
Precio(€)	99,90	168,34	64,82	49,90	55,44	35,15

Como se puede observar de la tabla anterior, el dispositivo desarrollado presenta características similares a los que ya existen en el mercado. En el caso del desarrollado se consigue una mayor precisión que en el caso del EmonPi y el dispositivo de EcoArt. Aunque en el dispositivo diseñado, solo se puede medir un circuito, el del hogar, pero que por otra parte en el caso de estudio lo único que se pretende es la medición en la casa. También se observa que el rango de medición solo llega a los 10 A puesto que, no se han podido probar dispositivos de superior corriente pero aún así al dispositivo se le pueden conectar sensores de transformación de mayor corriente.

El tiempo de muestreo es de cada 5 minutos, muy alto en comparación con el resto pero es así como se consigue un consumo mucho menor. Por otro lado se plantean alternativas de alimentación y el coste es el menor de los analizados en el Estado del Arte. Por último destacar la interacción del dispositivo con la nube, la aplicación del móvil y la aplicación Twitter, eliminando de esta manera el uso de monitores y pantallas LCD.





## 4. Conclusiones

Por último se procede con las conclusiones obtenidas del proyecto realizado. Se expone que se han seleccionado adecuadamente todos los elementos del circuito, adecuándose a la situación de alarma actual. Además se consigue la medición de varios parámetros eléctricos, contrastando cada uno de ellos.

Satisfactoriamente, se alcanza una alta precisión en comparación con los distintos dispositivos que existen en el mercado y se aclara que en el hogar existe un mínimo de corriente de entrada por los distintos electrodomésticos que están conectados a la red eléctrica permanentemente y que superan con creces el valor experimental de alta precisión que se obtiene anteriormente.

El dispositivo creado es de bajo consumo, ya que, con el modo "Sleep" se consigue una reducción de consumo del dispositivo, cada cinco minutos se reestablece y envía una señal a la nube y vuelve al modo anterior. Además se eliminan componentes del hardware que hacen que el consumo sea mayor.

También, se ha realizado la transferencia de datos a una nube y una aplicación móvil para la visualización de datos y se han creado alertas que avisan sobre el consumo.

Finalmente, se trata de un dispositivo de muy bajo coste (35,15€) en comparación con los que se encuentran en el mercado.

Como trabajo futuro se plantea que el dispositivo sea autosuficiente, alimentándose añadiéndole paneles solares y ayudando así al medio ambiente y que sea posible la medición de varios circuitos al mismo tiempo.

## 5. Referencias

- [1] Arduino, (2020). Arduino Nano 33 IoT with headers | Arduino Official Store [Online]. Disponible: <https://store.arduino.cc/arduino-nano-33-iot-with-headers>
- [2] BigBlue, (2020). BigBlue 28W USB Solar Charger [Online]. Disponible: <http://www.ibigblue.com/product/detail/?id=17>
- [3] Carlos, P. B. J. (2015, Feb. 10). Adquisición de datos con Arduino I: Tiempo de muestreo y Resolución [Online]. Disponible: <https://booleanbite.com/web/adquisicion-de-datos-con-arduino-i-tiempo-de-muestreo-y-resolucion/>
- [4] Duracell, (2020). Pilas recargables y cargadores de Duracell [Online]. Disponible: <https://www.duracell.es/products/recargables-y-cargadores/>
- [5] EcoArt Heating. (2020). Energy Saver Monitor Saving Energy Analyzer, Energy Meters for infrared heating system [Online]. Disponible: <https://www.ecoart-heating.com/product/energy-saver-monitor-saving-energy-analyzer-energy-meters-for-infrared-heating-system/>
- [6] Efergy Technologies Limited, (2019, Ago. 20). Efergy Engage Hub Kit - Características y Especificaciones Técnicas [Online]. Disponible: <https://es.efergy.com/engage-hub-kit-especificaciones/>
- [7] Electronics-tutorials(2020). AC circuits RMS Voltage Tutorial[Online]. Disponible: <https://www.electronics-tutorials.ws/ac/circuits/rms-voltage.html>
- [8] Emporia Energy. (2020, febrero 26). How Vue Smart Home Energy Monitor Works [Online]. Disponible: <https://emporiaenergy.com/how-the-vue-energy-monitor-works/>
- [9] Fernandez-Hernandez, Jesus. (2007). Cálculo simplificado del valor medio y eficaz de una forma de onda. Técnica Industrial. 271. 66-70.
- [10] Hudson, G. (2020). Home Energy [Online]. Disponible: <https://guide.openenergymonitor.org/applications/home-energy/>
- [11] J. Del Vecchio, F. Paternina, C. Henríquez, "Cloud computing a model for the development of enterprises", Prospect, Vol 13, N° 2, 81-87, 2015.
- [12] Micael B. G., "Aprendendo a Programar em Arduino", Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, 2011.

- [13] Peláez Aucay, E. y Jiménez Guamán, P, "Diseño De Un Sistema De Medición Y Monitoreo Del Consumo De Energía Por Circuitos En El Hogar , Mediante Tecnología De Comunicación Por Línea De Potencia", Trabajo fin de grado. Universidad del Azuay, 2018.
- [14] Poweradd, (2018). Poweradd Pilot X7 20000 mAh Portable Charger Power Bank with 2 USB Output [Online]. Disponible:  
[https://www.ipoweradd.com/prod\\_view.aspx?TypeId=10&Id=224&Fid=t3:10:3](https://www.ipoweradd.com/prod_view.aspx?TypeId=10&Id=224&Fid=t3:10:3)
- [15] Robert F. Coughlin y Frederick F., "Amplificadores diferenciales, de instrumentación y de puente" en Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales, quinta edición, Linda R. Ludewing, Pearson Educación, 1999, pp.214-216.
- [16] RS Pro, "50/60Hz Current Transformers", 1243900 datasheet,2020
- [17] Scott E., Karen R. ,Lyman C., "La Internet de las cosas- Una Breve Reseña",Internet Society, Octubre de 2015.
- [18] Shelly. (2020, enero 15). Shelly EM [Online]. Disponible:  
<https://shelly.cloud/shelly-energy-meter-with-contactor-control-wifi-smart-home-automation/>
- [19] Talema group, "40 Amp Current Transformer",AC1040 datasheet,2020.